

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25  
19-21 ตุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่

## การจำลองเชิงตัวเลขระบบระบายควันไฟด้วยวิธีธรรมชาติภายในโรงอาคาร

### A Numerical Simulation of Smoke Natural Ventilation System in an Atrium

ณัฐศักดิ์ บุญมี

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์: 02-942-8555, โทรสาร: 02-579-4576, Email: [fengnab@ku.ac.th](mailto:fengnab@ku.ac.th)

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมเพลิงไหม้และการแพร่กระจายของควันไฟภายในอาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ด้วยแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Fire Dynamics Simulator (FDS) โดยจำลองพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันภายในอาคารเมื่อเกิดเพลิงไหม้ในบริเวณ atrium สำหรับกองเพลิง 3 ขนาด คือกองเพลิงขนาด 2.2 MW 6 MW และ 12 MW ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่อาคารไม่มีช่องเปิดระบายควัน ควันสามารถแพร่กระจายปกคลุมเส้นทางหนีไฟของอาคารได้อย่างรวดเร็ว อุณหภูมิของควันภายในช่องทางเดินซึ่งเชื่อมต่อกับทางหนีไฟมีค่าสูงถึง 300 °C ในกรณีที่อาคารติดตั้งช่องเปิดระบายควัน ควันถูกระบายออกอย่างรวดเร็ว ควันไม่สะสมตัวภายใน atrium เมื่อช่องเปิดระบายควันทำงาน อุณหภูมิควันภายในช่องทางเดินลดลงโดยมีค่าไม่เกิน 50 °C ในทุกขนาดของกองเพลิง จากการคำนวณพบว่าช่องเปิดระบายควันขนาดพื้นที่ทำงานรวม 30 ตารางเมตรเป็นขนาดที่เหมาะสมเพื่อการระบายควันที่เกิดจากเพลิงไหม้ภายใน atrium ของอาคารวิศวกรรมเครื่องกล

คำสำคัญ: การจำลอง, การระบายควัน, โรงอาคาร

#### Abstract

This research numerically simulates fire and smoke spread behaviors in a Mechanical Engineering building, Kasetsart University by a computation fluid dynamics fire model, Fire Dynamics Simulator (FDS). Simulations of smoke spread due to fire in the atrium of the Mechanical Engineering building were performed for 3 fire sizes; 2.2 MW, 6 MW, and 12 MW. The study showed that when smoke vents were not installed, after the ignition of fires smoke could rapidly spread blocking most of the building exits. The smoke temperature in the corridors connecting to the exits was approximately 300 °C. In the cases where smoke vents were installed, smoke was quickly removed from the building atrium when the vents were activated. The smoke temperature in the corridors decreased well below 50 °C for all fire sizes. The study found that the total vent area of 30 m<sup>2</sup> was an optimum size for the natural smoke ventilation system in the atrium of the Mechanical Engineering building.

Keywords: Simulation, Smoke Ventilation, Atrium

#### 1. บทนำ

การจำลองเพลิงไหม้ภายในอาคาร (building fire modeling) เป็นแนวทางหนึ่งในการเตรียมความพร้อมด้านการป้องกันอัคคีภัยของอาคาร ผลที่ได้จากการจำลองจะช่วยให้สามารถประมาณสภาวะต่าง ๆ

เช่น อุณหภูมิของควัน ระดับฟลักซ์ความร้อนที่เป็นอันตรายต่อคน ความเข้มข้นของก๊าซพิษ คาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ ถ้าเกิดเพลิงไหม้ภายในอาคารได้ นอกจากนี้การจำลองเพลิงไหม้ยังสามารถใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของ

ระบบป้องกันอัคคีภัยเช่น ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติและระบบระบายควันไฟที่ได้ติดตั้งภายในอาคาร ด้วยภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ก่อสร้างอาคารหลังใหม่สูง 5 ชั้น ขนาดพื้นที่ต่อชั้นโดยประมาณ 30x60 ตารางเมตร ในการนี้ผู้วิจัยได้เป็นหนึ่งในคณะกรรมการออกแบบอาคารในส่วนขอระบบป้องกันอัคคีภัย ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความจำเป็นในการเตรียมความพร้อมด้านมาตรการป้องกันอัคคีภัยของอาคารฯ จึงได้ดำเนินการจำลองเพลิงไหม้ภายในอาคารโดยใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Fire Dynamics Simulator (FDS)

แบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Fire Dynamics Simulator (FDS) [1, 2] ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดย National Institute of Standards and Technology (NIST) ประเทศสหรัฐอเมริกา นักวิจัยหลายคนใช้ FDS เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการเผาไหม้ของเปลวไฟขนาดเล็กที่มีการเผาไหม้แบบราบเรียบ (laminar combustion) เช่นการเผาไหม้ของเปลวเทียน [3] ไปจนถึงเปลวไฟขนาดใหญ่ที่มีการเผาไหม้แบบปั่นป่วน (turbulent combustion) เช่น การเผาไหม้ของอ่างไฟ (pool fire) [4] การจำลองเพลิงไหม้ภายในอุโมงค์ [5] การจำลองเพลิงไหม้ภายในอาคาร [6, 7] ไปจนถึงการเผาไหม้ที่มีขนาดใหญ่มาก เช่น การจำลองเพลิงไหม้ถังเก็บน้ำมัน [8] และการจำลองเพลิงไหม้อาคาร World Trade Center (WTC) มหานครนิวยอร์ก [9, 10] ในเหตุการณ์ 11 กันยายน พ.ศ. 2544 เป็นต้น

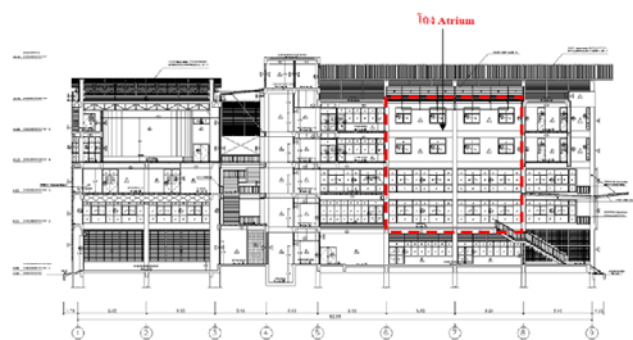
## 2. ทฤษฎี

โปรแกรม Fire Dynamics Simulator (FDS) [1, 2] ใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (finite volume method) ในการแก้สมการการเคลื่อนที่ และสมการพลังงานของของไหล และใช้ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) โดยใช้ subgrid scale model ของ Smagorinsky สำหรับการจำลองสภาวะการไหลแบบปั่นป่วน ในส่วนของการเผาไหม้เพื่อแก้ปัญหาขนาด

ของกริดซึ่งไม่สามารถทำให้ละเอียดเพียงพอที่จะจำลองพฤติกรรมของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศในการคำนวณซึ่งมีโดเมนการคำนวณขนาดใหญ่ FDS ได้ใช้แบบจำลอง mixture-fraction-based infinitely fast chemical reaction บนสมมุติฐานที่ว่า อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศถูกควบคุมโดยอัตราการที่เชื้อเพลิงกับอากาศเข้าผสมกัน (mixing controlled) แทนที่ที่เชื้อเพลิงกับอากาศเข้าผสมกันเชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับอากาศอย่างรวดเร็ว (infinitely fast chemical reaction) ได้เป็นแก๊สผลิตภัณฑ์การเผาไหม้ที่เกิดจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ ข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับโปรแกรม FDS สามารถหาได้จากเอกสารอ้างอิง [1, 2]

## 3. แบบจำลองอาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

อาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก มีขนาดกว้าง 30 เมตร ยาว 60 เมตร และมีความสูงวัดจากพื้นดินถึงยอดหลังคาโดยประมาณเท่ากับ 25 เมตร อาคารมีจำนวนชั้นทั้งสิ้น 6 ชั้นรวมชั้นดาดฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 1 ที่บริเวณชั้น 2 ของอาคารมีการเปิดเพดานเป็นโถงโถง atrium จนถึงชั้น 5 โดยพื้นที่ที่เปิดโถงมีขนาดโดยประมาณ กว้าง 6 เมตร และยาว 16 เมตร (พื้นที่เท่ากับ 96 ตารางเมตร)



ภาพที่ 1 ภาพตัดด้านข้าง อาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากแบบของอาคารในไฟล์ AutoCAD ผู้วิจัยได้ดำเนินการแปลงไฟล์เป็นไฟล์นามสกุล .dxf แล้วส่งต่อข้อมูลให้กับโปรแกรม PyroSim [11] ซึ่งเป็นโปรแกรม grid generation สำหรับ FDS เพื่อการ

สร้างแบบจำลองของอาคารแบบจำลองของอาคารที่สร้างด้วยโปรแกรม PyroSim ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2

โดเมนการคำนวณมีขนาดกว้าง 40 เมตร ยาว 70 เมตร และสูง 25 เมตร ค่าขอบเขตของโดเมน (domain boundaries) ที่ผิวด้านข้างทั้ง 4 ด้านและด้านบน กำหนดให้เปิดสู่สภาวะบรรยากาศภายนอก (open boundary) ซึ่งอนุญาตให้มวลและความร้อนสามารถไหลออกจากผิวโดเมนได้โดยอิสระ ที่พื้นด้านล่างกำหนดให้ค่าขอบเขตเป็นผิวทึบ มวลไม่สามารถไหลผ่านได้ และอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างคงที่ 25°C (inert boundary) ตลอดเวลาในการจำลอง

อาคารวิศวกรรมเครื่องกลมีความสูงถึงพื้นชั้นดาดฟ้าเท่ากับ 20.45 เมตรซึ่งไม่เกิน 23 เมตร ดังนั้นจึงไม่เข้าข่ายอาคารสูงตามข้อกำหนดในกฎกระทรวงฉบับที่ 33 อย่างไรก็ตามลักษณะการก่อสร้างอาคารที่มี atrium เปิดโล่งตั้งแต่ชั้นที่ 2 ถึงชั้นที่ 5 มีโอกาสทำให้ควันไฟสามารถแพร่กระจายภายในอาคารได้อย่างรวดเร็วตามช่องเปิด atrium ถ้าหากอาคารไม่มีระบบควบคุมการแพร่กระจายของควันภายในอาคารที่เหมาะสม ดังนั้นการศึกษาพฤติกรรมของเพลิงไหม้ภายในอาคาร จึงมุ่งเน้นศึกษาถึงผลกระทบของช่องเปิด atrium ต่อพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันไฟภายในอาคาร และหาแนวทางในการควบคุมควันอย่างมีประสิทธิภาพในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ภายในอาคาร ในการศึกษาผลกระทบของช่องเปิด atrium ต่อพฤติกรรมการแพร่กระจายของควัน

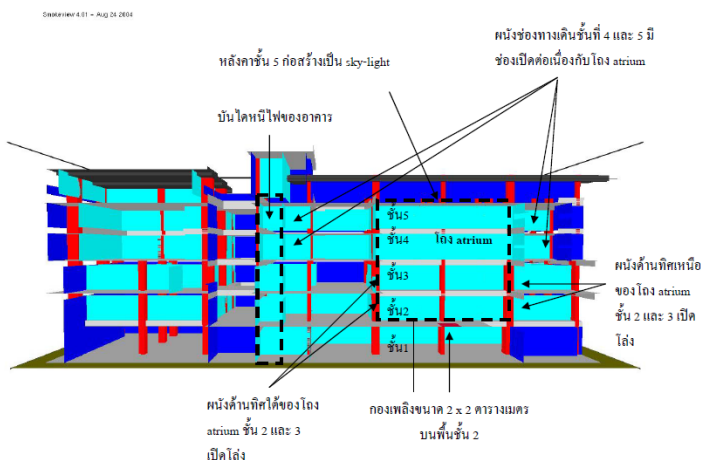
ผู้วิจัยได้กำหนดเหตุการณ์เพลิงไหม้สมมุติที่เลวร้ายที่สุด (worst case fire scenario) ให้เกิดเพลิงไหม้ที่บริเวณพื้นที่ชั้น 2 ตรงตำแหน่งกึ่งกลางโถง atrium เนื่องจากเพลิงไหม้ที่ตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งที่ทำให้ควันไฟสามารถแพร่กระจายไปตามโถง atrium สูงชันต่างๆ ของอาคารได้อย่างรวดเร็วที่สุด กองเพลิงที่ใช้ในการคำนวณมีขนาดพื้นที่การเผาไหม้เท่ากับ 2 x 2 ตารางเมตร วางไว้บนพื้นชั้น 2 กลางโถง atrium ดังแสดงในภาพที่ 2 โถง atrium มีขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 16 เมตร และ สูง 14.4 เมตร (ปริมาตรเท่ากับ 1382 ลูกบาศก์เมตร)

จากการศึกษาอย่างละเอียดโดยการทำ grid refinement study ขนาดกริดที่เหมาะสมและใช้ในการจำลอง คือ grid ขนาด 0.43m x 0.43m x 0.33m โดยมีจำนวนปริมาตรจำกัดทั้งสิ้น 1,093,500 ปริมาตร

#### 4. การจำลองการระบายควันด้วยวิธีธรรมชาติ

การจำลองพฤติกรรมของการแพร่กระจายของควันไฟได้ดำเนินการโดยทำการติดตั้งระบบระบายควันไฟด้วยวิธีธรรมชาติ (natural smoke ventilation) ที่หลังคา sky-light ของโถง atrium ในแต่ละแบบของระบบระบายควันไฟที่ติดตั้ง ได้มีการแปรผันขนาดของกองเพลิงเป็น 2.2 MW 6MW และ 12 MW ตามลำดับ เพื่อดูผลกระทบของขนาดของกองเพลิงต่อพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันไฟภายในอาคาร ตารางที่ 1 สรุปกรณีศึกษาทั้งหมด 12 กรณี ที่ได้ดำเนินการจำลอง

การระบายควันด้วยวิธีธรรมชาติได้อาศัยช่องเปิดระบายควัน (smoke vent) ซึ่งติดตั้งไว้ที่หลังคา sky-light ของอาคารชั้นที่ 5 รูปแบบของช่องเปิดระบายควันมี 3 ลักษณะดังแสดงในภาพที่ 3 Natural Vent Design 1 (Nat\_D1) ภาพที่ 4 Natural Vent Design 2 (Nat\_D2) และ ภาพที่ 5 Natural Vent Design 3 (Nat\_D3) ขนาดพื้นที่ระบายควันต่อช่องเปิดและจำนวนได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยพยายามให้ทุกรูปแบบของช่องเปิดระบายควันที่ทำการจำลองมีพื้นที่ช่องเปิดระบายควันรวมใกล้เคียงกับ 44 ตารางเมตร



ภาพที่ 2 แบบจำลองอาคารด้วยโปรแกรม FDS

ตามค่าเบื้องต้นที่คำนวณตามมาตรฐาน NFPA 204 [12]

เมื่อเริ่มต้นการจำลองช่องเปิดทุกช่องอยู่ในสถานะปิด ช่องเปิดเริ่มทำงานเปิดออกเมื่ออุปกรณ์ตรวจจับความร้อน (heat detector) ซึ่งติดตั้งไว้ที่หลังคา sky-light ใต้ช่องเปิดระบายควันแต่ละช่องมีอุณหภูมิเท่ากับ  $74^{\circ}\text{C}$  (activation temperature =  $74^{\circ}\text{C}$ ) อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่ติดตั้งมีค่า response time index (RTI) เท่ากับ  $55 \text{ (m.s)}^{1/2}$

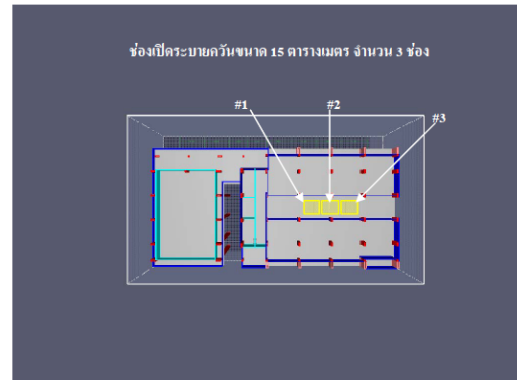
ตารางที่ 1 กรณีศึกษาพฤติกรรมการควบคุมควันไฟของโถง atrium ด้วยวิธีธรรมชาติ

| กรณีที่ | รหัสการจำลอง | อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง (MW) | ชนิดของระบบควบคุมควันไฟ | ขนาดของช่องระบายควัน ( $\text{m}^2$ ) / จำนวนของช่องเปิด |
|---------|--------------|----------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1_1     | No Vent      | 2.2                                          | ไม่มี                   | -                                                        |
| 1_2     | No Vent      | 6                                            | ไม่มี                   | -                                                        |
| 1_3     | No Vent      | 12                                           | ไม่มี                   | -                                                        |
| 2_1     | Nat_D1       | 2.2                                          | วิธีธรรมชาติ            | 22 / 2                                                   |
| 2_2     | Nat_D1       | 6                                            | วิธีธรรมชาติ            | 22 / 2                                                   |
| 2_3     | Nat_D1       | 12                                           | วิธีธรรมชาติ            | 22 / 2                                                   |
| 3_1     | Nat_D2       | 2.2                                          | วิธีธรรมชาติ            | 15 / 3                                                   |
| 3_2     | Nat_D2       | 6                                            | วิธีธรรมชาติ            | 15 / 3                                                   |
| 3_3     | Nat_D2       | 12                                           | วิธีธรรมชาติ            | 15 / 3                                                   |
| 4_1     | Nat_D3       | 2.2                                          | วิธีธรรมชาติ            | 11 / 4                                                   |
| 4_2     | Nat_D3       | 6                                            | วิธีธรรมชาติ            | 11 / 4                                                   |
| 4_3     | Nat_D3       | 12                                           | วิธีธรรมชาติ            | 11 / 4                                                   |

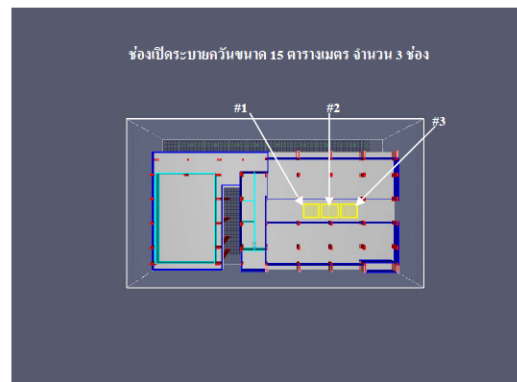
การจำลองในทุกกรณีดำเนินการบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล Pentium Dual Core 1.86 GHz Ram 2.00 GB เวลาที่ใช้ในการคำนวณ (CPU time) โดยเฉลี่ยแต่ละกรณีเท่ากับ 13 ชั่วโมง สำหรับเวลาการจำลอง (simulation time) 180 วินาที

ตารางที่ 2 สรุปเวลาในการเริ่มทำงานของช่องเปิดระบายควันแต่ละกรณีศึกษา การจำลองพบว่าช่องเปิดระบายควันแต่ละตัวจะเปิดทำงานไม่พร้อมกัน ทั้งนี้เนื่องจากการเริ่มทำงานของช่องเปิดแต่ละตัว ถูกควบคุมด้วยอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนซึ่งติดตั้งแยกอิสระจากกัน ช่องเปิดที่ติดตั้งใกล้กับกึ่งกลางโถง atrium มีแนวโน้มที่จะเริ่มทำงานก่อนช่องเปิดที่อยู่ห่างจากแนวกลางออกไป ในบางกรณีตลอดการจำลอง

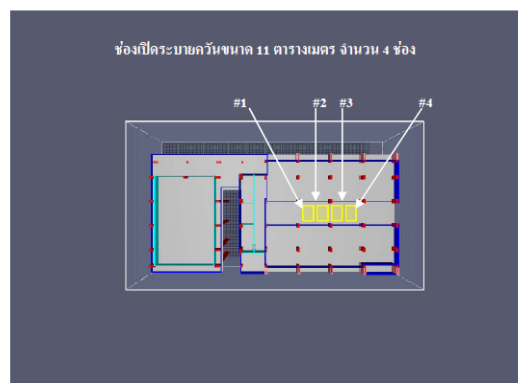
180 วินาที ช่องเปิดที่อยู่ห่างจากแนวกลางไม่มีการเปิดออกเนื่องจากมีช่องเปิดช่องอื่นเริ่มทำงานก่อนหน้าได้ทำการระบายควันออกทำให้อุณหภูมิภายในโถง atrium ลดลงจนกระทั่งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนของช่องเปิดที่เหลือมีอุณหภูมิไม่สูงเกิน  $74^{\circ}\text{C}$  ตารางที่ 2 ได้สรุปขนาดพื้นที่ช่องเปิดระบายควันที่เปิดทำงานจริง (active vent area)



ภาพที่ 3 การติดตั้งช่องเปิดระบายควันในการจำลองกรณีที่ 2-1 2-2 และ 2-3 “Nat\_D1”



ภาพที่ 4 การติดตั้งช่องเปิดระบายควันในการจำลองกรณีที่ 3-1 3-2 และ 3-3 “Nat\_D2”



ภาพที่ 5 การติดตั้งช่องเปิดระบายควันในการจำลองกรณีที่ 4-1 4-2 และ 4-3 “Nat\_D3”

## 5. มาตรฐานที่เกี่ยวข้องสำหรับการระบายควันภายในอาคาร

ข้อกำหนดตามมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยและการควบคุมควันไฟภายในอาคาร [12-15] กำหนดเป้าหมายของระบบควบคุมควันไฟที่จะต้องดำเนินการมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) ทำให้ควันอยู่เหนือจากพื้นชั้น 5 (พื้นที่ชั้นที่สูงที่สุดซึ่งที่ต่อเชื่อมต่อกับโถง atrium) อย่างน้อย 1.85 เมตร ตลอดเวลา
- 2) ป้องกันไม่ให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในช่องทางเดินที่เชื่อมต่อไปสู่ทางหนีไฟ (exit access) ของทุกชั้นสูงกว่า 49 °C

## 6. ผลการจำลองในสภาวะไม่คงตัว

ภาพที่ 6 แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันภายในอาคารในกรณีที่ไม่มีการติดตั้งระบบระบายควันไฟสำหรับกองเพลิงขนาด 6 MW ที่สภาวะเริ่มต้นควันร้อนจะลอยตัวขึ้นไปในแนวตั้งอย่างรวดเร็วเนื่องจากแรงลอยตัว เมื่อควันลอยขึ้นไปกระทบหลังคา sky-light ควันจะเกิดการสะสมตัวใต้หลังคา เมื่อเวลาผ่านไประดับของควันลดต่ำลง จนสามารถแพร่กระจายไปในช่องทางเดินชั้นที่ 3 ชั้นที่ 4 และชั้นที่ 5 ซึ่งมีช่องเปิดเชื่อมต่อกับโถง atrium จนเต็มด้วยเวลาอย่างรวดเร็ว (เวลาน้อยกว่า 90 วินาที) ควันที่ปกคลุมช่องทางเดินมีความหนาแน่นมากยิ่งขึ้นเมื่อกองเพลิงมีขนาดใหญ่ขึ้น ควันที่แพร่กระจายได้ปกคลุมเส้นทางหนีไฟทำให้ผู้ใช้อาคารในชั้นที่ 3 4 และ 5 ไม่สามารถใช้บันไดหนีไฟได้

ภาพที่ 7 แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันภายในอาคารเมื่อมีการติดตั้งช่องเปิดระบายควันแบบ “Nat\_D1” (total effective vent area = 44 m<sup>2</sup>) สำหรับกองเพลิงขนาด 6 MW ที่สภาวะเริ่มต้นขณะที่ช่องเปิดระบายควันยังไม่ได้เริ่มทำงาน สภาพภายในโถง atrium และช่องทางเดินชั้นที่ 3 4 และ 5 มีสภาวะเหมือนกับการจำลองในกรณีที่ไม่มีการติดตั้งระบบระบายควัน อย่างไรก็ตามเมื่อช่องเปิดระบายควันเริ่มทำงาน ควันร้อนได้ถูกระบายออกอย่างรวดเร็ว สภาวะในช่องทางเดินที่เชื่อมต่อกับโถง atrium ของทุกชั้นที่เวลา 90 วินาที มีควันปริมาณ

เพียงเล็กน้อยปกคลุมอยู่ โดยมีระดับควันอยู่สูงจากเส้นทางหนีไฟชั้นที่ 5 มากกว่า 1.85 เมตรซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน NFPA 101 [14] สำหรับพฤติกรรมการกระจายตัวของควันสำหรับช่องเปิดแบบ Nat\_D2 และ Nat\_D3 เป็นไปในลักษณะ เดียวกันกับ Nat\_D1

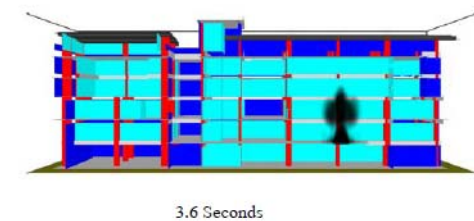
การจัดวางตำแหน่งของช่องเปิดและอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง มีผลกระทบอย่างมากต่อเวลาในการเริ่มทำงานของระบบระบายควัน ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ตำแหน่งของช่องเปิดที่อยู่เหนือกองเพลิงพอดีจะเริ่มทำงานได้รวดเร็วที่สุด ตำแหน่งของช่องเปิดซึ่งอยู่ห่างจากแนวกึ่งกลางออกไป จากการคำนวณพบว่าสำหรับกองเพลิงวางอยู่กึ่งกลางโถง atrium การติดตั้งช่องเปิดรูปแบบ Nat\_D2 สามารถเริ่มทำงานได้รวดเร็วที่สุดในขณะที่ช่องเปิดรูปแบบ Nat\_D1 มีการเริ่มการทำงานได้ช้าที่สุดในทุกขนาดของกองเพลิง เมื่อพิจารณาในเทอมของอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงพบว่าเวลาในการเริ่มทำงานของช่องเปิดแปรผกผันกับขนาดของกองเพลิง

## 7. ผลการจำลองที่สภาวะคงตัว

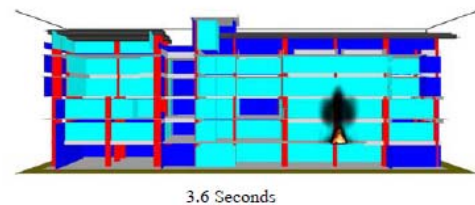
สภาวะภายในโถง atrium เข้าสู่สภาวะคงตัวเมื่อเวลาในการจำลองผ่านไปโดยประมาณ 60 วินาที อุณหภูมิเฉลี่ยของควันในช่วงเวลา 60 ถึง 180 วินาที ที่ระยะ X = 40 และ X = 48 ที่ความสูงระดับต่างๆ จากพื้นชั้น 2 ได้แสดงไว้ภาพที่ 8 ในกรณีที่โถง atrium ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายควันเมื่อกองเพลิงมีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของควันมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากมีความร้อนสะสมตัวอยู่ในชั้นของควันมากขึ้น ที่ระดับความสูงมากกว่าความสูงของควัน (ประมาณ 7 เมตร จากพื้นชั้น 2) อุณหภูมิของควันแปรผันเพียงเล็กน้อยตามความสูง การกระจายตัวของอุณหภูมิที่คงที่ไม่ขึ้นกับความสูงนี้เนื่องมาจากการไหลในชั้นของควัน (smoke layer) เป็นการไหลแบบปั่นป่วนอย่างมาก ทำให้ชั้นของควันอยู่ในสภาวะเอกรูป (uniform) อุณหภูมิของควันจึงไม่ขึ้นกับความสูง

| กรณีที่ | รหัส<br>การ<br>จำลอง | อัตราการปล่อย<br>พลังงานความร้อน<br>ของกองเพลิง (MW) | เวลาที่ช่องเปิดระบายควันเริ่มทำงาน (s) |       |               |               | Active<br>Vent Area<br>(m <sup>2</sup> ) |
|---------|----------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------|---------------|---------------|------------------------------------------|
|         |                      |                                                      | #1                                     | #2    | #3            | #4            |                                          |
| 2_1     | Nat_D1               | 2.2                                                  | 45.90                                  | 43.41 | ไม่มี         | ไม่มี         | 44                                       |
| 2_2     | Nat_D1               | 6                                                    | 17.11                                  | 18.18 | ไม่มี         | ไม่มี         | 44                                       |
| 2_3     | Nat_D1               | 12                                                   | 10.80                                  | 11.00 | ไม่มี         | ไม่มี         | 44                                       |
| 3_1     | Nat_D2               | 2.2                                                  | ไม่เริ่มทำงาน                          | 29.17 | ไม่เริ่มทำงาน | ไม่มี         | 15                                       |
| 3_2     | Nat_D2               | 6                                                    | ไม่เริ่มทำงาน                          | 14.24 | ไม่เริ่มทำงาน | ไม่มี         | 15                                       |
| 3_3     | Nat_D2               | 12                                                   | 18.92                                  | 9.91  | ไม่เริ่มทำงาน | ไม่มี         | 30                                       |
| 4_1     | Nat_D3               | 2.2                                                  | ไม่เริ่มทำงาน                          | 34.94 | 46.46         | ไม่เริ่มทำงาน | 22                                       |
| 4_2     | Nat_D3               | 6                                                    | ไม่เริ่มทำงาน                          | 14.41 | 14.78         | ไม่เริ่มทำงาน | 22                                       |
| 4_3     | Nat_D3               | 12                                                   | ไม่เริ่มทำงาน                          | 9.19  | 8.66          | ไม่เริ่มทำงาน | 22                                       |

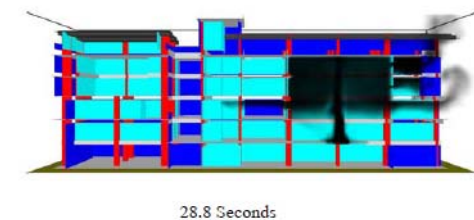
ตารางที่ 2 เวลาในการเริ่มทำงานของช่องเปิดระบายควันแต่ละช่องในการจำลองแต่ละกรณี



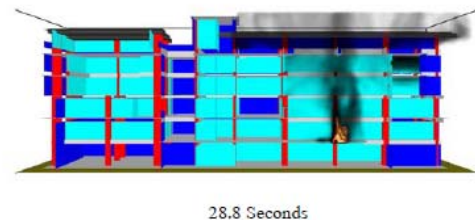
Frame: 26  
Time: 3.6  
Smokeview 4.01 - Aug 24 2004



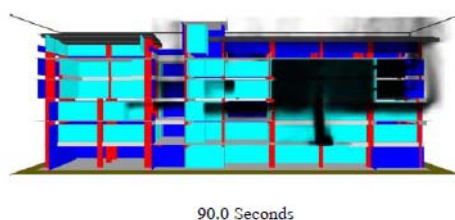
Frame: 26  
Time: 3.6  
Smokeview 4.01 - Aug 24 2004



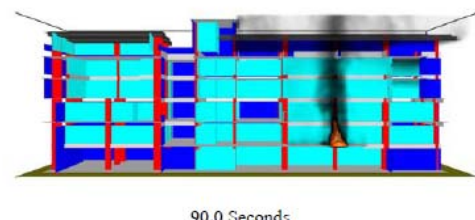
Frame: 180  
Time: 28.8  
Smokeview 4.01 - Aug 24 2004



Frame: 180  
Time: 28.8  
Smokeview 4.01 - Aug 24 2004



Frame: 584  
Time: 90.0  
Smokeview 4.01 - Aug 24 2004

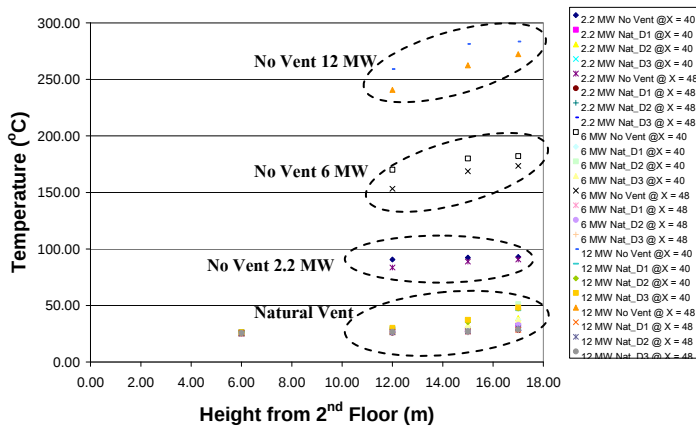


Frame: 584  
Time: 90.0  
Smokeview 4.01 - Aug 24 2004

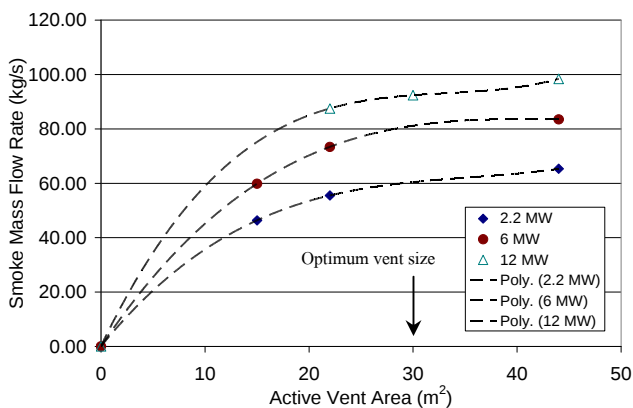
ภาพที่ 6 การกระจายตัวของควันภายในอาคาร (6 MW, No Vent)

ภาพที่ 7 การกระจายตัวของควันภายในอาคาร (6 MW, Nat\_D1)

ในกรณีที่โถง atrium มีการติดตั้งช่องเปิดระบายควัน ช่องเปิดสามารถระบายควันออกไปจากโถง atrium อย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่มีการสะสมตัวของควันภายในโถง atrium ดังนั้นอุณหภูมิที่ทุกระดับความสูงจึงมีค่าต่ำกว่า 49°C ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน NFPA 130 [13]



ภาพที่ 8 อุณหภูมิของควันภายในโถง Atrium ที่สภาวะคงตัว



ภาพที่ 9 อุณหภูมิของควันภายในโถง Atrium ที่สภาวะคงตัว

อัตราการระบายควันในเทอมของพื้นที่ช่องเปิดที่เปิดทำงาน (active vent area) ได้พล็อตไว้ในภาพที่ 9 ที่ช่องเปิดขนาดเดียวกันอัตราการระบายควันเพิ่มมากขึ้นเมื่ออัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงเพิ่มสูงขึ้น เมื่อกองเพลิงมีขนาดคงที่อัตราการระบายควันเพิ่มมากขึ้นเมื่อช่องเปิดมีขนาดเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปตามที่คาดหมาย อย่างไรก็ตามอัตราการระบายควันมีแนวโน้มเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง เมื่ออัตราการระบายควันเข้าสู่ค่าคงที่ พื้นที่ช่องเปิดมาก

ขึ้นไม่ได้ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการระบายควันไฟของอาคาร สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอัตราการไหลของควันผ่านช่องเปิดในขณะนั้นขึ้นกับแรงลอยตัวซึ่งเป็นผลต่างของอุณหภูมิของควันกับอากาศภายนอกเท่านั้น จากภาพที่ 9 พบว่าการเพิ่มพื้นที่ช่องเปิดรวมมากกว่า 30 ตารางเมตรไม่ได้ทำให้อัตราการระบายควันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นช่องเปิดระบายควันขนาด 30 ตารางเมตรจึงเป็นขนาดช่องเปิดที่เหมาะสม (optimum vent size) สำหรับช่องเปิดระบายควันของโถง atrium ภายในอาคารภาควิศวกรรมเครื่องกล

## 8. สรุป

### อาคารไม่ติดตั้งช่องเปิดระบายควัน

- 1) จากสภาพในปัจจุบันซึ่งอาคารไม่ได้มีการติดตั้งระบบควบคุมควันไฟ ถ้าเกิดเพลิงไหม้ภายในบริเวณโถง atrium ของอาคาร ควันสามารถแพร่กระจายไปทั่วอาคารได้อย่างรวดเร็วภายในเวลาน้อยกว่า 90 วินาที ควันที่แพร่กระจายปกคลุมช่องทางเดินชั้นที่ 3 4 และ 5 มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงเท่ากับ 90°C 175°C และ 283°C สำหรับกองเพลิงขนาด 2.2 MW 6 MW และ 12 MW ตามลำดับ อุณหภูมิควันที่สูงในระดับนี้สามารถทำให้ผู้ที่สูดดมเอาควันเข้าไปเสียชีวิตได้อย่างรวดเร็ว
- 2) อุณหภูมิควันที่สูงเกือบ 300°C ในกรณีกองเพลิงขนาด 12 MW สามารถทำให้เหล็กโครงสร้างของอาคารซึ่งไม่ได้มีการพ่นฉนวนกันไฟมีโอกาสเกิดการวิบัติได้

### อาคารมีการติดตั้งช่องเปิดระบายควัน

- 1) เมื่ออาคารมีการติดตั้งช่องเปิดระบายควัน ช่องเปิดระบายควันสามารถระบายควันที่สะสมอยู่ภายในอาคารได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ควันมีปริมาณเพียงเล็กน้อยแพร่กระจายภายในช่องทางเดินชั้นที่ 3 4 และ 5 ระดับควันอยู่สูงกว่าพื้นทางเดินมากกว่า 1.85 เมตรซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน NFPA 101

- 2) ช่องเปิดระบายควันสามารถลดอุณหภูมิของควันที่แพร่กระจายภายในช่องทางเดินชั้นที่ 3 4 และ 5 ให้มีระดับต่ำกว่า 49°C ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยตามมาตรฐาน NFPA 130
- 3) อัตราการระบายควันที่สภาวะคงตัวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อช่องเปิดระบายควันมีขนาดใหญ่ขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อช่องเปิดระบายควันมีขนาดมากกว่า 30 ตารางเมตร การเพิ่มขนาดช่องเปิดไม่ได้ทำให้อัตราการระบายควันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ช่องเปิดระบายควันขนาดพื้นที่ทำงานรวม 30 ตารางเมตรจึงเป็นขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมสำหรับการระบายควันด้วยวิธีธรรมชาติภายในโถง atrium ของอาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
- 4) เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้อาคาร อาคารควรพิจารณาติดตั้งช่องเปิดระบายควันที่บริเวณหลังคา Sky-Light ของโถง atrium

#### 9. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการศึกษาพฤติกรรมของเพลิงไหม้และการกระจายตัวของควันไฟภายในอาคารหลังใหม่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รหัสโครงการวิจัย 50/05/ME

#### 10. เอกสารอ้างอิง

1. McGrattan, K., *Fire Dynamics Simulator (Version 4) Technical Reference Guide*. 2004, National Institute of Standards and Technology: Gaithersburg, MD.
2. McGrattan, K. and G. Forney, *Fire Dynamics Simulator (Version 4) User's Guide*. 2004, National Institute of Standards and Technology: Gaithersburg, MD.
3. Hamins, A. and M. Bundy, *Characterization of Candle Flames*. Journal of Fire Protection Engineering, 2005. 15: p. 265-285.
4. Ma, T.G. and J.G. Quintiere, *Numerical Simulation of axi-symmetric fire plumes:*

*accuracy and limitations*. Fire Safety Journal, 2003. 38: p. 467-492.

5. Hwang, C.C. and J.C. Edwards, *The Critical Ventilation Velocity in Tunnel Fires-a Computer Simulation*. Fire Safety Journal, 2005. 40: p. 213-244.
6. ณัฐศักดิ์\_บุญมี, การศึกษาพฤติกรรมการไหลของควันได้เพดานอย่างอิสระด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550. 61: p. 107-119.
7. ณัฐศักดิ์\_บุญมี, การศึกษาขนาดกริดในการจำลองลำควันสมมาตรด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข. การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 45 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550. 45: p. 62-69.
8. Baum, H.R. and K. McGrattan. *Simulation of Oil Tank Fires*. in *Proceedings of the Eighth International Interflame Conference*. 1999: Interscience Communications.
9. R.G.Rehm, et al. *Initial Model of Fires in the World Trade Center Towers*. in *Fire Safety Science Proceedings of the Seventh International Symposium*. 2003.
10. Baum, H.R. *Simulating Fire Effects on Complex Building Structures*. in *Fire Safety Science Proceedings of the Eighth International Symposium*. 2006.
11. Thunderhead\_Engineering, *PyroSim User Manual* 2006.1: <http://thunderheadeng.com/pyrosim/>.
12. NFPA, *NFPA 204 Standard for Smoke and Heat Venting*. 2002.
13. NFPA, *NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems*. 2000.
14. NFPA, *NFPA 101 Life Safety Codes*. 2000.
15. NFPA, *NFPA 92B Guide for Smoke Management System in Mall, Atria, and Large Areas*. 2000.